

# HYDRAULINEN SIVULEVYPURISTIN

Sandvik Mining and Construction Oy

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Opinnäytetyö  
Kevät 2011  
Antti Kaipainen

Lahden ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka

KAIPAINEN, ANTTI

Hydraulinen sivulevypuristin

Mekatroniikan opinnäytetyö

30 sivua, 5 liitesivua

Kevät 2011

TIIVISTELMÄ

---

Opinnäytetyön tavoitteena, oli suunnitella 2. hydraulinen sivulevypuristin Sandvik Mining and Construction Oy:lle Lahden tehtaalle, jonka avulla puristetaan hydraulisenvasaran sivulevyt paikoilleen iskuyksikön ympärille. Tarkoituksena oli käyttää samaa hydraulikkajärjestelmää kuin vanhassa puristimessa, sillä se oli todettu hyvin toimivaksi ja turvalliseksi. Vanhalla puristimella voitiin puristaa vain kahta vasaramallia ja uudella puristimella tuli voida puristaa viittä mallia kahden sijaan. Tavoitteena oli suunnitella puristin mahdollisimman yksinkertaiseksi ja turvalliseksi. Tärkeänä kriteerinä puristimelle oli vasaroiden läpikulku mahdollisuus kuljettimella, jotta puristustyön tekeminen nopeutuisi ja nostojen määrä kääntöpuominosturilla vähenisi. Uuden puristimen tuli olla ergonomisempi ja monipuolisempi käytettävyydeltään, jotta sillä voitaisiin puristaa enemmän eri malleja.

Suunnittelussa lähdettiin liikkeelle täysin tyhjältä pöydältä mallintamalla muutamia erilaisia tapoja puristaa sivulevyt yhteen. Puristin mekanismeista valittiin käytännön toteutus mahdollisuuksiltaan sopivin, jossa oli otettu huomioon vanhan puristimen hyviä ominaisuuksia.

Suunnittelutyön lisäksi opinnäytetyössä esitellään myös vanhan puristimen hydraulinen osuus, jota käytettiin myös uuden puristimen suunnittelussa.

Avainsanat: Hydraulikka & koneensuunnittelu

Lahti University of Applied Sciences  
Faculty of Technology

KAIPAINEN, ANTTI

Hydraulic presser

Bachelor's Thesis in Mechatronics

30 pages, 5 appendices

Spring 2011

ABSTRACT

---

The aim of this thesis was to design a new presser for Sandvik Mining and Construction Ltd in Lahti. The presser presses sidesheets around a hydraulic hammer. The intention was to use the same hydraulic system as in the old presser. The old presser was just only able to press two hydraulic hammer model's sidesheets. The goal was also to design the presser so that it would be faster and easier to use for its users. The new presser should be more ergonomic and more versatile than the old one. The new presser can press five models instead of two.

Design started by drawing a few different kinds of presser sketches to paper. After comparing the presser alternatives, the most suitable presser model was selected, where all the good features from the old presser were taken into account.

In this thesis, the hydraulic system of the old presser is also introduced because it is also used in the new one.

Keywords: hydraulic & machine designing

1	JOHDANTO	1
2	TYÖN TAVOITTEET JA LAAJUUS	2
3	SANDVIK	3
3.1	Yritys	3
3.2	Sandvik Mining and Construction	3
3.2.1	Sandvik Mining and Construction Suomessa	3
3.2.2	Lahden tehdas	4
4	HYDRAULIIKKA	5
4.1	Yleistä	5
4.2.1	Hydrauliikan etuja	6
4.2.2	Hydrauliikan haittoja	6
4.3	Hydrauliikan hallintalaitteet	7
5	TYÖN KULKU	8
6	VANHA PURISTIN	9
6.1	Mekanismi	9
6.2	Hydrauliikka	11
6.3	Hyödyt ja haitat	11
7	ERILAISET PURISTINVAIHTOEHDOT	12
7.1	Uuden puristimen kriteerit	12
7.2	Ensimmäinen puristinmalli	12
7.2.1	Hyvät puolet:	13
7.2.2	Huonot puolet:	13
7.3	Toinen puristinmalli	14
7.3.1	Hyvät puolet:	14
7.3.2	Huonot puolet:	14
7.4	Kolmas puristinmalli	15
7.4.1	Hyvät puolet:	15
7.4.2	Huonot puolet:	16
7.5	Puristimien vertailu	16
8	UUSI PURISTIN	17
8.1	Toiminta	17
8.2	Hyödyt	17
8.3	Kärryt	18

8.4	Tukirakennelman lujuuslaskennat	19
8.5	Nurjahdus	22
8.5.1	Nurjahduksen esto	23
8.6	Tapit	23
8.6.1	Tappien suunnittelu	23
8.7	Puristinpäät	25
8.7.1	Puristinpää mallit	26
9	RISKIANALYYSI	27
9.1	Yleisiä koneiden turvallisuudesta	27
9.2	Puristimen turvallisuus	28
9.3	Mahdolliset riskit	29
10	YHTEENVETO	30
	LÄHTEET	31
	LIITTEET	32

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihe on hydraulivasaroiden iskuyksikön ympärille tulevien sivulevyjen asennukseen käytettävän puristimen suunnittelu. Hydraulivasaroiden iskuyksiköiden ympärille tulevat valuraudasta valmistetut sivulevyt. Sivulevyjen tarkoituksena on suojata iskuyksikköä lialta, iskuilta ja muilta kulutusta aiheuttavilta ulkoisilta tekijöiltä. Joissakin malleissa niiden tarkoituksena on myös toimia äänenvaimentimena. Useimmat vasarat kiinnitetään kaivinkoneeseen sivulevyissä sijaitsevilla kiinnitystapeilla tai pulteilla. Lahdessa sijaitsevassa tehtaassa valmistetaan useita erikokoisia ja erimallisia hydraulikkavasaroita, jotka on jaettu kahteen pääryhmään: pienivasarapuoli ja isovasarapuoli. Opinnäytetyönä suunnitella sivulevypuristimella puristetaan viiden pienivasarapuolen vasaroiden sivulevyjä.

Sivulevyjä on aiemmin puristettu kokoon vaakatasossa suuren pneumatiikkasyylinterin avulla. Toimenpide on hankala ja hidas, ja tapoja puristaa sivulevyjä yhteen tällä menetelmällä on yhtä monta, kuin on puristajakin. Pneumatiikkasyylinterin rasitus on erittäin suuri, joten se aiheuttaa työturvallisuusriskin. Menetelmä on edelleen käytössä joissakin vasaramalleissa. Puristamiseen on tämän jälkeen valmistettu hydraulikalla toimiva puristin, joka puristaa kahdella sylinterillä sivuilta sivulevyt vasaran ympärille. Menetelmä on toimiva, mutta hieman kömpelö ja hidas

Tarkoituksena on suunnitella uusi puristin, joka olisi monella osa-alueella vanhaa parempi. Suunnittelussa on käytetty SolidWorks -ohjelmaa, jolla on mallinnettu puristimen osat ja laskettu lujuuslaskennat.

## 2 TYÖN TAVOITTEET JA LAAJUUS

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella uusi puristin, jolla puristetaan sivulevyt yhteen. Päätaavoitteet tärkeysjärjestyksessä uuden puristimen suunnittelulle ovat:

1. tuotteiden läpivirtaus mahdollisuus
2. monipuolisuus
3. ergonomisuus
4. luotettava
5. puristimen siirrettävyys
6. edullisuus.

Tärkeimpänä tavoitteena on puristimen monipuolisuus. Käytössä olevalla puristimella voidaan puristaa kahta vasaramallia, ja kolmea vasaramallia puristetaan edelleen pneumatiikka sylinterillä. Ongelmana vanhalla puristimella on, ettei sen puristuskorkeutta voida säätää. Tästä syystä johtuen isoimmat vasaramallit puristuvat liian matalalta, eivätkä sivulevyt puristu paikoilleen.

Toiseksi tärkeimpänä tavoitteena on tuotteiden läpivirtaus mahdollisuus. Tällä hetkellä vanhalla puristimella puristettaessa tulee kääntöpuominosturilla paljon nostoja jokaista vasaraa puristettaessa. Tämä hidastaa tuotantoa ja lisää työn ras-kautta sen tekijälle. Uusi puristin tulee suunnitella siten, että vasarat pääsisivät virtaamaan läpi, jotta tuotanto nopeutuisi ja nostojen määrä kääntöpuominosturilla vähenee.

Kolmantena tärkeysjärjestyksessä on ergonomisuus. Vanha puristin on jo ergonomisuudeltaan hyvä, joten suunnittelussa pyrittiin säilyttämään ergonomisuus vähintään samalla tasolla ja lisäämällä jotain pieniä työtä helpottavia ominaisuuksia. Puristimen luotettavuus on myös tärkeää, ettei siinä ole liikkuvia hankalia ranteita, jotka menevät helposti rikki.

Muut tavoitteet kuten puristimen siirrettävyys ja valmistamisen edullisuus ovat myös tärkeitä tavoitteita, mutta niillä ei ole niin paljon painoarvoa kuin monipuolisuudella, läpivirtauksella ja ergonomisuudella.

### 3 SANDVIK

#### 3.1 Yritys

Sandvik AB on ruotsalainen vuonna 1862 perustettu maailmanlaajuisesti toimiva korkeateknologian teollisuuskonserni. Vuonna 2010 Sandvikilla oli toimintaa 130 maassa ja se työllisti 47 000 ihmistä. Yhtiön kolme päätoiminta-aluetta ovat Sandvik Tooling, Sandvik Mining and Construction ja Sandvik Materials Technology. (Sandvik Oy 2011.)

Yhtiön kolme suurinta pääomistajaa oli 31.joulukuuta 2009 AB Industrivärlden 11,4 %, Swedbank Robur Funds 4,7 % ja Svenska Handelsbanken's Pension Foundation 4,0 %. Noin neljännes yhtiön työntekijöistä on Ruotsista. (Sandvik Oy 2011.)

#### 3.2 Sandvik Mining and Construction

Sandvik-konsernin omistama Sandvik Mining and Construction -liiketoiminta-alue on maailman johtavia materiaalinkäsittely- ja louhintalaitteiden, kovametallityökalujen ja niihin liittyvien palvelujen tuottajia. Vuonna 2006 liiketoiminta-alue työllisti 15 500 henkilöä ja sen liikevaihto oli 3,2 miljardia euroa. (Sandvik Oy 2011.)

##### 3.2.1 Sandvik Mining and Construction Suomessa

Suomessa yhtiö on nimellä Sandvik Mining and Construction. Sandvik Mining and Construction Oy:llä on Suomessa kolme tuotetehdasta. Tampereen tehtaalla valmistetaan avolouhintalaitteita, tunnelinporauslaitteita, tuotantoporauslaitteita sekä pultituslaitteita. Turussa valmistetaan lastaus- ja kuljetuslaitteita. Lahden tehtaalla valmistetaan hydraulivasaroita ja leikkurimurskaimia. Vantaalla sijaitsee myyntikonttori, jonka tuotevalikoimaan kuuluvat ruostumattomat putket, tankoteräkset,



nauhat, langat, hitsauslisäaineet ja sähkövastusmateriaalit sekä kovametallityökalut sorvaukseen, jyrsintään ja poraukseen.

Yhtiön omistaa 100 %:sti Sandvik Mining and Construction Finland Oy:n, joka vastaa louhinta-, lastaus-, purkaus- ja kaivonporauslaitteiden, tienhoitotuotteiden, porakaluston ja kuljettimien huollosta ja myynnistä Suomessa. Vuonna 2009 yrityksen liikevaihto oli 194 miljoonaa euroa. (Sandvik Oy 2011.)

### 3.2.2 Lahden tehdas

Sandvikilla on kaksi toimipistettä Lahden alueella, Ahtialassa ja Hollolassa. Hollolassa sijaitsee Sandvik Mining and Construction kuljetin- ja hihnahuolto ja Ahtialassa Mining and Construction, jossa kehitetään, valmistetaan ja markkinoidaan kaivinkoneiden hydraulivasaroita ja muita rakennusteollisuuden lisälaitteita, kuten leikkurimurskaimia. Opinnäytetyön toteutus tapahtui Lahden tehtaalla. (Sandvik Oy 2011.)

## 4 HYDRAULIIKKA

### 4.1 Yleistä

Hydrauliikka, eli voimansiirto nesteen välityksellä, on vanhin ja samalla modernein voimansiirtotapa. Vesivoima ja vesimyllyt ovat palvelleet ihmiskuntaa vuosisatoja käyttämällä erilaisia koneita ja laitteita. Hydrauliikka on tärkeä elementti kuljetuskalustossa, työkoneissa, autoissa, rakennuskoneissa, laivoissa ja lentokoneissa. Hydrauliikan lukuisat edut ovat tehneet siitä erinomaisen voimansiirtomenetelmän.

Aineen kolme fysikaalista olomuotoa ovat kiinteä, neste ja kaasu. Ilma ja kaasu ovat hyviä voimansiirron välittäjäaineita, mutta häviävät kokoonpuristuttavuudessa auttamatta nesteelle. Nesteen kokoonpuristumattomuus on erinomainen ominaisuus täsmällisen liikkeen hallinnan kannalta. Kun kaasut, toisin kuin nesteet, ovat kokoonpuristuvia, ei niillä saada aikaan täsmällisiä liikkeitä eivätkä ne sovi kuin joissakin rajoitetuissa tapauksissa välittäjäaineeksi. Kiinteät aineet sopivat mekaanisen voimansiirron rakenneaineiksi akseleihin, hammaspyöriin, hihnoihin, ketjuihin ja hydrauliikan sylintereihin, pumppuihin ym. muihin komponentteihin. Niistä ei kuitenkaan ole liikkumaan joustavasti letkuissa ja putkissa niin kuin neste. (Keinänen, Kärkkäinen 1997, 10 – 30.)

### 4.2 Hydrauliijärjestelmä

Perusjärjestelmä muodostuu öljysäiliöstä, pumpusta sekä hallinta- ja toimilaitteista. Pumppu muuttaa mekaanisen energian hydrauliseksi energiaksi, paineeksi ja öljyn virtaukseksi. Toimilaitteita ovat sylinterit ja moottorit, jotka muuttavat hydraulisen energian takaisin mekaaniseksi energiaksi, voimaksi ja liikkeeksi tekemään haluttua työtä.

Paine leviää nesteessä tasaisesti kaikkialle kuten nestekin hydraulijärjestelmässä, eikä neste suurenkaan paineen alaisena puristu kokoon. Toisin kuin aineet, nesteet menevät kaiken muotoisiin astioihin sekä kaikenkokoisten ja -muotoisten reikien ja aukkojen läpi. (Keinänen & Kärkkäinen 1997, 10 – 30.)

#### 4.2.1 Hydrauliiikan etuja

- ✓ Hydraulijärjestelmillä saadaan aikaan suuria voimia ja momentteja.
- ✓ Pyörivä ja lineaarinen liike voidaan helposti toteuttaa.
- ✓ Voiman, nopeuden ja momentin muuttaminen on helppoa.
- ✓ Voidaan ylikuormittaa ilman vaurioita pysähdyksiin saakka.
- ✓ Komponentit ovat standardoituja.
- ✓ Voidaan ohjata sähköisesti.
- ✓ Hydraulineste voitelee ja jäähdyttää toimilaitteen.

#### 4.2.2 Hydrauliiikan haittoja

- ✓ Kaikki hydraulijärjestelmät vuotavat ainakin vähän.
- ✓ Pitkä kestoikä ja varmuus edellyttävät puhdasta järjestelmää.
- ✓ Tehohäviöt ovat suuria pitkillä siirtomatkoilla.
- ✓ Hyötysuhde ei ole kovin hyvä.
- ✓ Hydraulinesteet ovat palavia ja ympäristöä saastuttavia nesteitä.
- ✓ Komponenteissa on tarkat toleranssivaatimukset.

(Aula & Mikkonen 2008, 12 – 18.)

### 4.3 Hydrauliiikan hallintalaitteet

Hallintalaitteita ovat suuntaventtiilit sekä paineen ja virtauksen hallintaventtiilit. Suuntaventtiileillä määrätään öljyn virtauksen suunta. Virtauksen suunta määrää, meneekö hydraulisylinterin mäntä sisään vai ulos tai pyöriikö moottorin akseli myötä- vai vastapäivään, eli öljyvirtauksen suunta määrää toimilaitteen liikkeen suunnan, ja sitä ohjataan suuntaventtiileillä.

Paineenhallintaventtiilejä ovat paineenrajoitus-, paineenalennus-, vapaakierto- ja erilaiset jaksoventtiilit. Paineventtiilit hoitavat järjestelmän eri osiin halutun paineen. Toimilaitteen sylinterin voima ja moottorin vääntömomentti ovat suoraan verrannollisia paineeseen.

Öljyn virtausnopeutta eli tilavuusvirtaa hallitaan virransäätöventtiileillä. Toimilaitteen nopeus on suoraan verrannollinen sinne tulevaan öljyn tilavuusvirtaan. Virransäätöventtiilit säätävät öljyn virtausta kuristamalla sitä tai jakamalla osan kokonaisvirrasta toisaalle. Venttiileitä ohjataan käsin, paineilmalla, hydraulikalla tai sähköllä. Eri venttiilien avulla voidaan työkoneiden monimutkaisetkin toiminnot ja prosessit automatisoida. (Aula & Mikkonen 2008, 12 – 18.)

## 5 TYÖN KULKU

Opinnäytetyön tekeminen aloitettiin tutustumalla itse tuotannon töihin työskentelemällä viikon ajan apumiehenä iskuyksiköiden kasauksessa. Tämän jälkeen tehtiin kaksi viikkoa levytystyötä hydrauliiikkapuristimella, joka on tämän opinnäytetyön kohde. Näiden kolmen viikon aikana moni tuotannon työntekijä tuli tutuksi ja puristimen käyttöön tuli tutumaa ja tätä kautta käytännön näkökulmaa kehitystyöhön, mikä on työn suunnittelun kannalta tärkeää. Työn lomassa oli mahdollisuus haastatella puristinta käyttäviä työntekijöitä, joilla on paljon kokemusta puristimen käytöstä. Tätä kautta saatiin hyviä ajatuksia ja mielipiteitä uuden puristimen suunnitteluun.

Muutaman viikon käytännön harjoittelun jälkeen alkoivat suunnittelutyöt. Suunnittelu alkoi mallintamalla ensin erilaisia puristusmahdollisuuksia paperille. Muutaman erilaisen puristinmallin suunnittelun ja visioinnin jälkeen pidettiin palaverin opinnäytetyönohjaajani kanssa ja valittiin sopivin mallin, jota lähdettiin kehittämään edelleen.

## 6 VANHA PURISTIN

### 6.1 Mekanismi

Sivulevyjen puristuksessa on tällä hetkellä käytössä hydraulikalla toimiva puristin. Hydraulikkaa käytetään sivulevyjen puristuksessa, koska sivulevyjen ja iskukyksikön väliin asennetaan tiivistepalat, jolloin sivulevyjen yhteen saaminen vaatii noin 30 -100 kN:n voiman mallista riippuen ja hydraulikka sylinterien avulla tämä on mahdollista. Tiivistepalojen tarkoituksena on pitää iskukyksikkö tukevasti paikoillaan ja toimia äänieristeenä.

Puristin koostuu pöydästä, jolle iskukyksikkö (Kuvio 2) siirretään pystyasentoon tapin päälle kääntöpuominosturin avulla. Tämän jälkeen nosturilla nostetaan ensimmäinen sivulevy (Kuvio 3) paikoilleen tapin viereen ja suoritetaan esipuristus hydraulikkasylinterillä sivuilta 60–100 N:n voimalla. Seuraavaksi nostetaan toinen sivulevy paikoilleen ja suoritetaan esipuristus samalla voimalla. Esipuristuksien jälkeen sivulevyt puristetaan kahdella sylinterillä yhtä aikaa yhteen 100 000 N:n voimalla ja pidetään puristuksessa sylinterien avulla, kunnes sivulevyt pulutataan kiinni toisiinsa pulteilla. Puristettaessa täytyy ottaa huomioon, että sivulevyissä olevat ohjuritapit ohjautuvat oikein. Lopuksi kone nostetaan kääntöpuominosturilla pois tarroitettavaksi. Vasaran kokoamisohjeet, LIITE 2.

Vanha puristin (Kuvio 1) muodostuu kiinteästä pöydästä, jonka molempiin päihin on asennettu hydraulikkasylinterit. Sylinterien männät liikkuvat toisiaan kohti johteiden varassa, joilla estetään männän varren nurjahtaminen ja yhdellä johteella kohdistetaan sylinterit tarkasti toisiaan kohti. Johteet ja sylinterit ovat suojattu suojakotelolla, jotta mitään ei pääsisi puristumaan väliin ja puristaminen olisi turvallisempaa.



KUVIO 1. VANHA PURISTIN



KUVIO 2. ISKUYKSIKKÖ



KUVIO 3. SIVULEVY

## 6.2 Hydraulikka

Vanhassa puristimessa puristusliikkeen tekee kaksi hydraulikkasyylinteriä, joita ohjataan sähköisesti ohjauspaneelilla. Sylintereitä voidaan liikuttaa esipuristus paineella yksinään 70 N:n voimalla. Esipuristuksen jälkeen voidaan itse puristukseen valita kolmesta eri painetasosta sopivin. Vaihtoehdot ovat 50 bar, 100 bar tai 150 bar. Suurimmalla paineella yhden sylinterin työntövoima on 100 000 N. Puristuksessa sylinterit liikkuvat samanaikaisesti ja turvallisuussyistä sylintereitä ohjattaessa ohjaus vaatii kahden painikkeen painamista. Puristimen hydraulikkajärjestelmä, LIITE 1. Puristimen ohjausohjeet LIITE 3. Ohjauskotelon lay-out, LIITE 4.

## 6.3 Hyödyt ja haitat

Vanha puristin on sinällään jo toimiva ja luotettava, mutta hieman kömpelö ja käytettävyydeltään hidas. Se on myös suunniteltu puristamaan vain kahta eri mallia kun uudessa voitaisiin puristaa viittä. Vanhassa puristimessa on hyvin toimiva hydraulikkajärjestelmä, ja tästä syystä uudessa puristimessa tullaan käyttämään samaa järjestelmää. Vanhan puristimen kanssa ei ole sattunut yhtään työtaturmaa sen käytössäoloaikana.



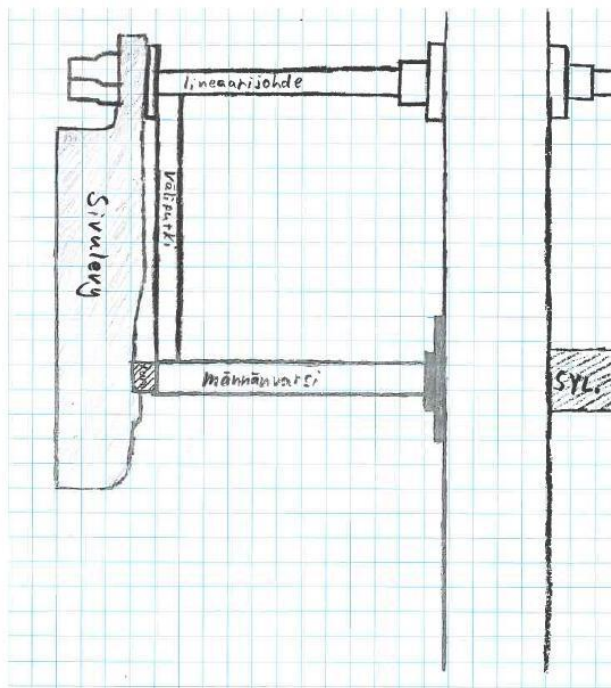
## 7 ERILAISET PURISTINVAIHTOEHDOT

### 7.1 Uuden puristimen kriteerit

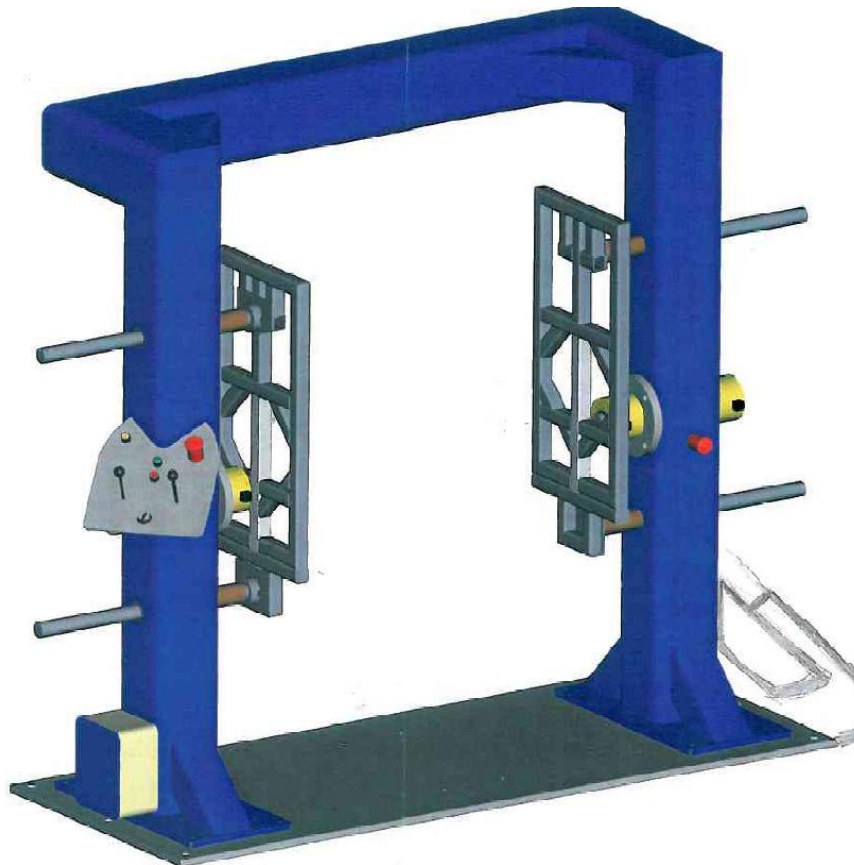
Uuden puristimen suunnittelu alkoi erilaisten puristinmallien luonnosten mallintamisella paperille. Muutaman eri puristinmallin mallinnuksen jälkeen malleista valittiin sopivin. Puristin malleja vertailtiin puristimen valmistuksen edullisuuden, käyttäjän ergonomisuuden, käytettävyys nopeuden ja laitteen yksinkertaisuuden perusteella. Myös uuden puristimen siirrettävyys oli yksi tärkeistä kriteereistä.

### 7.2 Ensimmäinen puristinmalli

Ensimmäisessä mallissa (Kuviot 4 ja 5) sivulevyt kiinnitetään telineisiin, joita liikuttaa sylinteri. Sylinteri liikkuu yhden lineaarijohteen varassa. Sivulevy on kiinnitetty telineeseen lineaarijohteen päässä oleviin tappeihin. Puristimen läpi kulkevat kärryt, joissa iskuyksiköt liikkuvat automaattisesti ja kärry pysähtyy puristimen kohdalle optisten antureiden avulla.



KUVIO 4. KÄSIN PIIRRETTY LUONNOS  
ENSIMMÄISESTÄ PURISTINMALLISTA.



KUVIO 5. MALLINNETTU LUONNOS ENSIMMÄISESTÄ PURISTINMALLISTA.

#### 7.2.1 Hyvät puolet:

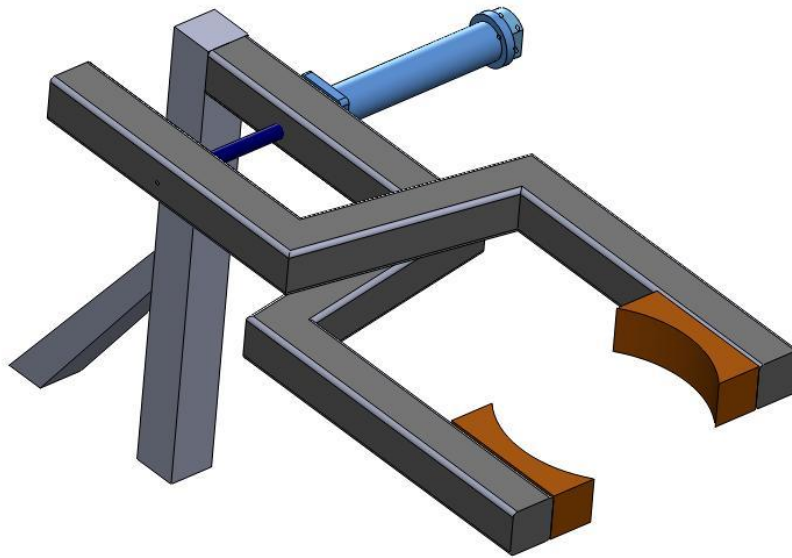
- ✓ ergonominen, työvaiheet automatisoitu
- ✓ luotettava, kestävä runko
- ✓ nopea, työvaiheet automatisoitu
- ✓ monipuolinen, voidaan puristaa eri malleja helposti
- ✓ hyvä läpivirtaavuus, paljon tilaa.

#### 7.2.2 Huonot puolet:

- ✓ kallis, rungon valmistaminen ja automatisointi ovat kallista
- ✓ huono siirrettävyys painava ja suuri rakenne
- ✓ monimutkainen rakenne
- ✓ vioittuminen, monimutkainen järjestelmä.

### 7.3 Toinen puristinmalli

Toisessa mallissa (Kuvio 6) puristus tapahtuu yhden hydraulikkasynterin avulla. Synteri liikuttaa haarukkarakennetta, joka mahdollista puristuksen yhdellä synterillä. Tämän puristin mallin etuna on sen yksinkertaisempi hydraulikkajärjestelmä. Ongelmaksi tällä mallilla jo mallinnusvaiheessa koitui sen monimutkaisen rakenteen tarkka ja kestävä valmistus. Myös tavaran läpivirtaus olisi haaste, sillä koko rakennelmaa pitäisi pystyä siirtämään aina sivuun puristuksen jälkeen.



KUVIO 6. MALLINNETTU LUONNOS TOISESTA PURISTINMALLISTA

#### 7.3.1 Hyvät puolet:

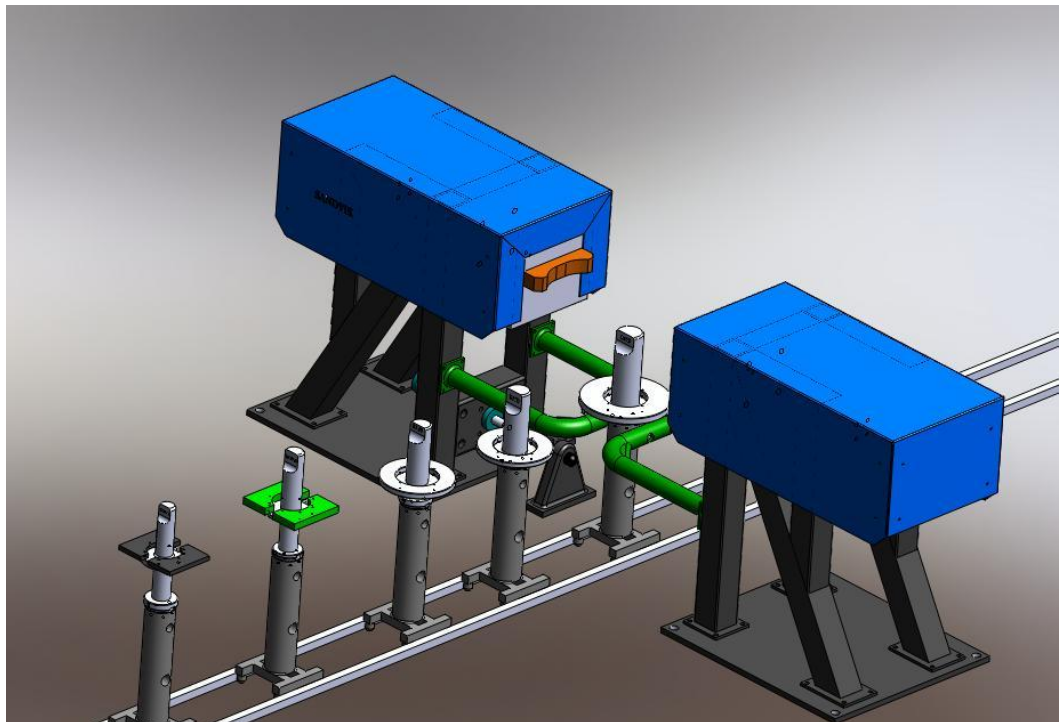
- ✓ edullinen, hydraulikkajärjestelmä yksinkertaisempi
- ✓ ergonominen, kärryt liikkuvat kiskoilla
- ✓ siirrettävyys, pulttikiinnitys muutamalla pultilla lattiaan.

#### 7.3.2 Huonot puolet:

- ✓ monimutkainen rakenne, hankala rakentaa tarkasti
- ✓ epäluotettava, monimutkainen runkorakenne saattaa vikaantua helposti
- ✓ läpivirtaus hankala toteuttaa, koko rakenne siirrettävä pois tieltä.

## 7.4 Kolmas puristinmalli

Kolmannessa puristinmallissa (Kuvio 7) puristus tapahtuu kahdella sylinterillä sivuilta ja siinä on samankaltaisuuksia alkuperäisen puristimen kanssa. Erona on, että puristin ei ole pöydän päällä vaan sylinterit ovat erillisillä telineillä. Näin mahdollistuu puristettavien vasaroiden läpikulkumahdollisuus. Puristin käyttää samaa hydraulikkajärjestelmää kuin entinen puristin, koska vanhan puristimen hydraulijärjestelmä oli todettu käytettävyydeltään ja toiminnaltaan hyväksi.



KUVIO 7. KOLMAS PURISTINMALLI

### 7.4.1 Hyvät puolet:

- ✓ ergonominen, kärryt liikkuvat kiskoilla
- ✓ yksinkertainen rakenne
- ✓ siirrettävä, pulttikiinnitys lattiaan
- ✓ edullinen, ei automatisointia ja yksinkertainen rakenne
- ✓ monipuolinen, helppo toteuttaa eri mallien puristaminen
- ✓ hyvä läpivirtaavuus, kärryt liikkuvat esteettömästi puristimen läpi.

#### 7.4.2 Huonot puolet:

- ✓ rakenteen kestävyys, toistuva runkoon kohdistuva voima voi aiheittaa rungon vioittumisen.

#### 7.5 Puristimien vertailu

Puristimia vertailtiin pistetaulukon avulla, jossa ominaisuuden pistemäärä kerrottiin painoarvon index:llä. Eniten pisteitä sai vaihtoehto kolme.

TAULUKKO 1. PURISTIMIEN PISTETAULUKKO

<i>Pisteytys 1-10</i>	Vertailu taulukko			
	<b>Index</b>	<b>Malli 1</b>	<b>Malli 2</b>	<b>Malli 3</b>
<b>Läpivirtaavuus</b>	0,7	10	3	9
<b>Monipuolisuus</b>	0,7	7	6	9
<b>Ergonomisuus</b>	0,6	10	7	9
<b>Nopeus</b>	0,5	8	3	8
<b>Luotettavuus</b>	0,4	7	5	6
<b>Siirrettävyys</b>	0,4	1	6	8
<b>Rakenteen yksinkertaisuus</b>	0,3	1	5	10
<b>Edullisuus</b>	0,3	1	7	6
<b>Tulos</b>		<b>25,7</b>	<b>20</b>	<b>32,4</b>

## 8 UUSI PURISTIN

### 8.1 Toiminta

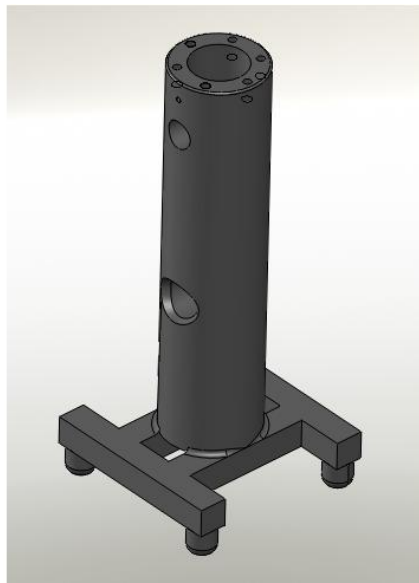
Uudeksi puristimeksi valittiin puristinmalli 3. Tässä mallissa iskukyksiköt nostetaan kärryyn tapin päälle, josta kärry edelleen työnnetään puristimen väliin. Tämän jälkeen nostetaan sivulevyt paikoilleen samalla tavalla kuin vanhassakin puristimessa, eli tekemällä ensin esipuristus. Kokoonpuristuksen jälkeen pultit pultataan kiinni sylinterien vielä pitäessä levyjä kiinni. Kiinnityksen jälkeen sylinterit vapautetaan ja kärry voidaan työntää eteenpäin kiskoja pitkin. Tarkoituksena on levyttää ja tarroittaa aina kolme vasaraa kerralla, kunnes työ alkaisi taas alusta. Uudessa puristimessa käytetään samaa hydraulikka järjestelmää kuin vanhassa puristimessa.

### 8.2 Hyödyt

Tällä mekanismilla saadaan enemmän tilaa pulttien kiinnittämiseen, joka on ollut aikaisemmin hankalaa ahtaasta puristinpöydästä johtuen. Nostoja saadaan vähennettyä kääntöpuominosturilla, koska vasaroita ei tarvitse enää nostaa nosturilla tarroituspisteeseen, mikä nopeuttaa työn tekoa. Hyötynä on myös se, että voidaan levyttää useita vasaroita kerralla ja siirtää nopeasti ja helposti valmiit vasarat sivuun tarroitusta varten. Kääntöpuominosturille tulee myös vähemmän käyttöä, jolloin tilanteet vähenevät joissa nosturin käytön vuoroa joudutaan odottamaan. Tämä taas nopeuttaa muitakin työvaiheita. Liikkuvien johteiden ansiosta puristimella työskentely on ergonomisempaa verrattuna vanhaan puristimeen. Puristimen rakenteen yksinkertaisuuden ja hydraulikan yhteensopivuus vanhan puristimen kanssa mahdollistaa uuden puristimen edullisuuden. Myös puristimen siirrettävyys on helppoa sen rakenteen yksinkertaisuuden ansiosta.

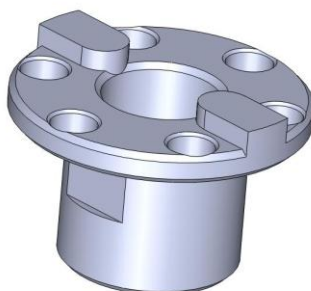
### 8.3 Kärret

Puristinta varten on suunniteltu kärret (kuvio 8), joihin iskuyksiköt tulevat. Iskuyksiköt nostetaan kääntöpuominosturilla kärryn päälle, joita työnnetään kiskoja pitkin puristimelle. Kärret ovat halkaisijaltaan 100 mm ja  $s=20$  mm teräsputkea. Kärryn päähän on kiinnitetty kuudella M10 pultilla tapin kiinnityskappale (kuvio 9). Tämän avulla saadaan vaihdettava tappi aina oikeaan asentoon. Kärrijen teline, johon putki on kiinnitetty, ja kiskot tilataan ulkoiselta yritykseltä.



KUVIO 8. KÄRRY

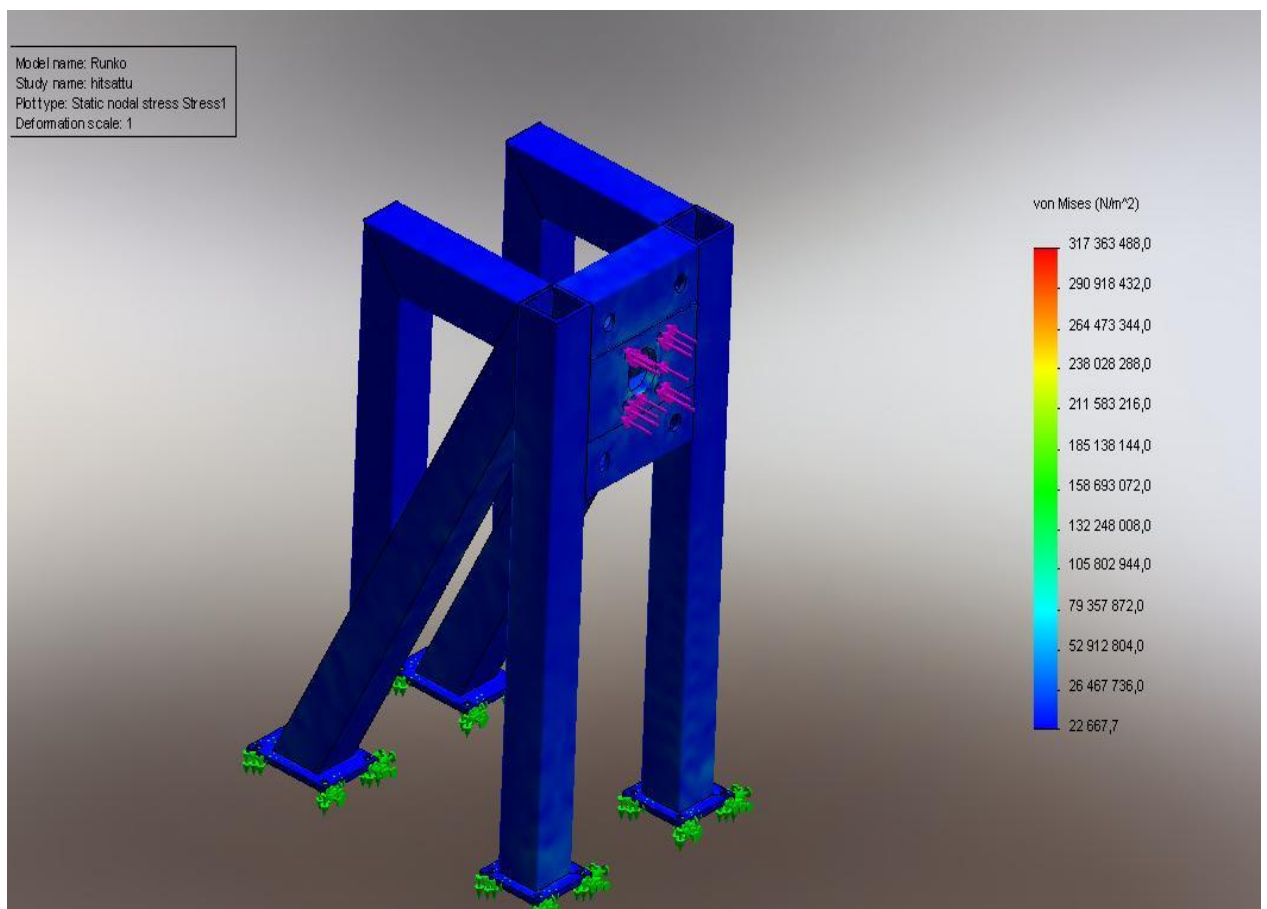
Tapin kiinnityskappaleen pinnassa sijaitsevat kaksi koroketta ohjaavat tapin oikeinpäin kärryyn. Tappi valmistetaan myös teräksestä.



KUVIO 9. TAPIN KIIINNITYSKAPPALE

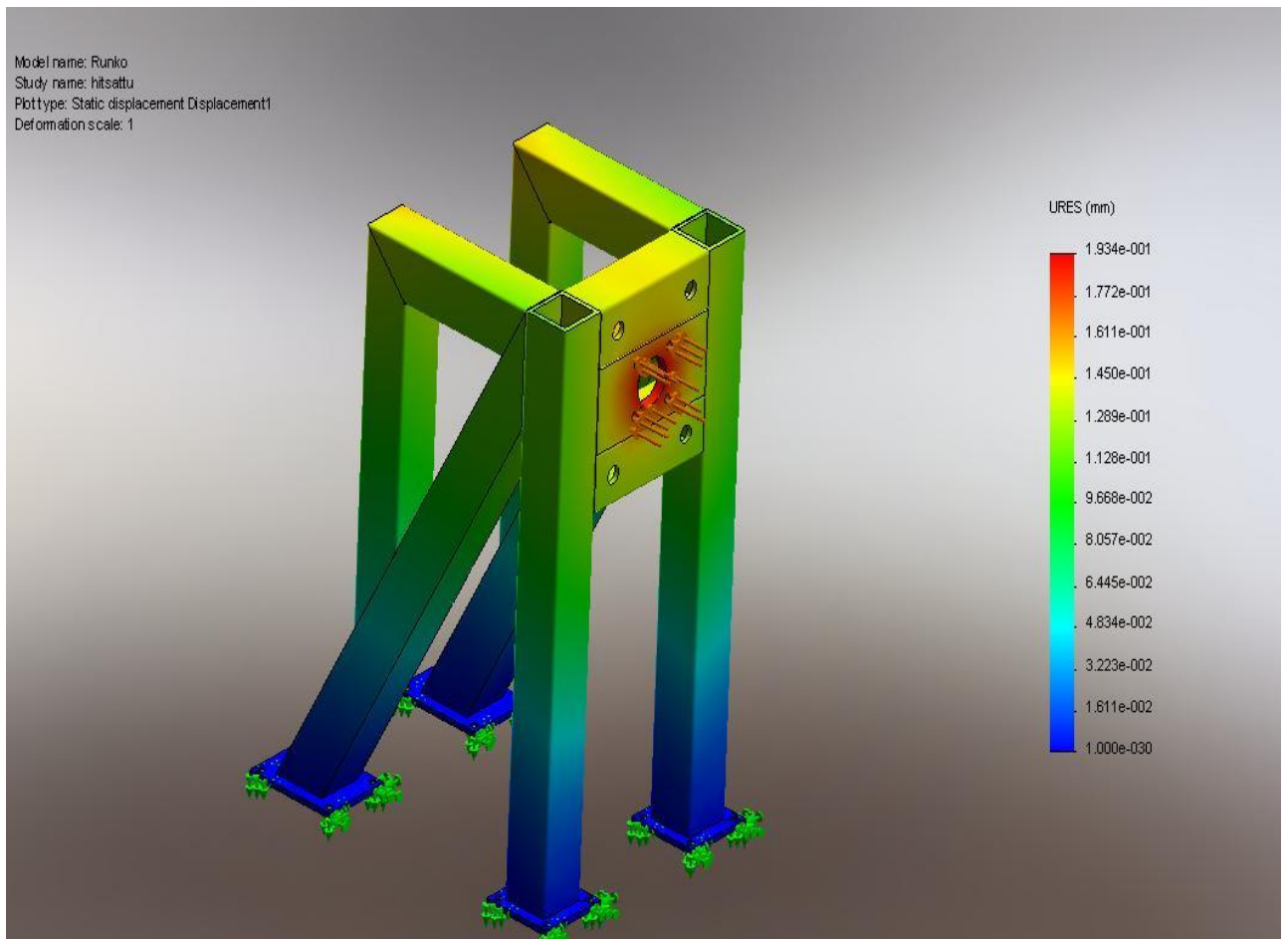
#### 8.4 Tukirakennelman lujuuslaskennat

Lujuuslaskennat suoritettiin puristimen rungolle SolidWorksin lujuuslaskentasiluuloinnin avulla (kuvio 10 ja 11). Sylinterille asetettiin työntö arvoksi 100 000 N ja rakenteen materiaaliksi 100x100x10 neliöteräsputkea. Siluuloinnit tehtiin sekä rungolle yhtenäisenä kappaleena, että hitsattuna osakokonaisuutena. Runkoon kohdistettiin voima sylinterin laipan 184 neliösenttimetrin pinta-alalle ja koh-tisuoraan teräslattarautaan, joka on kooltaan 188 mm x 300 mm x 25 mm. Teräs-neliöputkien koot ovat liitteessä 5. (Hietikko 2010, 257 – 270; Hietikko 2004, 87, 95, 177, 183; Valtanen 2008, 438 – 443.)



KUVIO 10. PAINELASKENTA HITSATULLE RUNGOLLE.





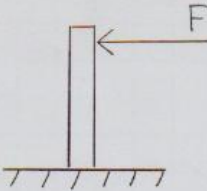
KUVIO 11. TAIPUMALASKENTA HITSATULLE RUNGOLLE.

Kuviosta 11. nähdään, että siirtymä rungon ylärajassa on 1,128–1,289 mm.

Lujuuslaskenta tehtiin myös yhdelle pystyteräspalkille, jossa tarkasteltiin teräspalkin taipumaa. Taipumalaskenta tehtiin käsin, jotta SolidWorks:llä tehtyjä varsinaisia rakenteen lujuuslaskentoja voitaisiin pitää luotettavina.

Kuviossa 12. nähdään käsin tehdyt lujuuslaskennat.

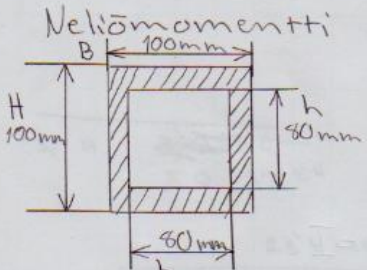
Yhden palkin taipuma  
tapaus



taipuma  $y_{\max} = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E I}$

Teräksen kimmokerroin  $E = 210 \text{ GPa}$   
 $\Leftrightarrow E = 210 \text{ G N/m}^2 = 210\,000\,000\,000 \text{ N/m}^2$   
 $= 210\,000 \text{ N/mm}^2 = \underline{210 \text{ kN/mm}^2}$

Neliömomentti  $I$



Neliöputki:  
 $I = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{12}$

Lasketaan teoreettinen voima yhdelle pystypalkille, jossa  $F = \frac{100 \text{ kN}}{6} \approx 17 \text{ kN}$

$$I = \frac{100 \text{ mm} \cdot (100 \text{ mm})^3 - 80 \text{ mm} \cdot (80 \text{ mm})^3}{12}$$

$$\Leftrightarrow I = 4\,920\,000 \text{ mm}^4$$

Joten

$$y_{\max} = \frac{17\,000 \text{ N} \cdot (836 \text{ mm})^3}{3 \cdot 4\,920\,000 \text{ mm}^4 \cdot 210\,000 \text{ N/mm}^2}$$

$$\approx 3,2 \text{ mm}$$

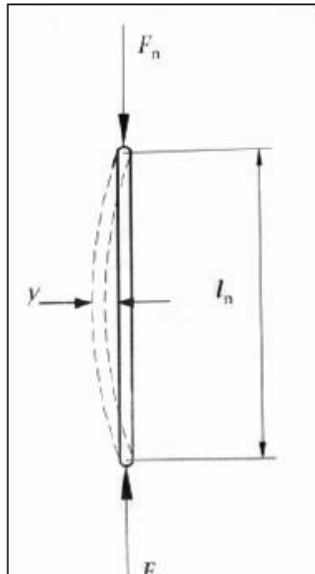
Tulos: Taipuma on 3,2 mm

KUVIO 12. KÄSIN TEHTY YHDEN PALKIN TAIPUMALASKENTA

(Hietikko 2010, 257 – 270; Hietikko 2004, 87, 95, 177, 183; Valtanen 2008, 438 – 443.)

## 8.5 Nurjahdus

Pitkää ja hoikkaa sauvaa puristettaessa kokoon nousevalla puristusvoimalla puristettava sauva menettää tasapainonsa ja alkaa taipua voimakkaasti. Tällöin puhutaan nurjahtamisesta. Sauvan nurjahtamiseen vaikuttavat sauvan mitat, materiaalit ja se, miten sauva on tuettu.



Kuvio 13. Hoikan sauvan nurjahdus.

Nurjahdusvoima voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$F_n = \mu \frac{\pi^2 EI}{L_n^2}$$

kaavassa

$F_n$  = nurjahdusvoima

$\mu$  = nurjahdustapauksen kerroin

$E$  = materiaalin kimmokerroin

$I$  = sauvan jäyhyysmomentti

$L_n$  = sauvan nurjahduspituus.

Nurjahdus tapahtuu herkemmin pitkälle sauvalle, kun taas pituuteen nähden paksu sauva tyssähtää eikä nurjahda. Tyssähdyksessä sauva painuu pituussuunnassa kaasaan. Paikallinen lommahdus voi esiintyä sauvoissa, joissa sauvan rakenne koostuu hitsatuista levyistä. Lommahdus tapahtuu paikallisesti yhden levyn tietyssä kohdassa. Lommahduksen sattuessa, sauva ei enää ole rakenteeltaan halutunlainen. (Hietikko 2004, 114 – 116.)

#### 8.5.1 Nurjahduksen esto

Uudistuksena vanhaan on johteiden asennus ja sijainti. Johteet ovat kiinnitetty kiinteästi samaan levyyn männän varren pään kanssa ja liikkuvat rungon läpi. Vanhassa puristimessa johteet eivät liiku, jolloin ne ovat usein tiellä ja tästä syystä tekevät pulttaamisesta ahdasta. Johteet ovat 30 mm paksua teräsputkea, jota on käytetty myös vanhassa puristimessa, ne ovat samanpituisia ja leveyssuunnassa 250 mm:n sekä pystysuunnassa 288 mm:n etäisyydellä toisistaan. Näin varmistetaan männänvarren nurjahdus.

### 8.6 Tapit

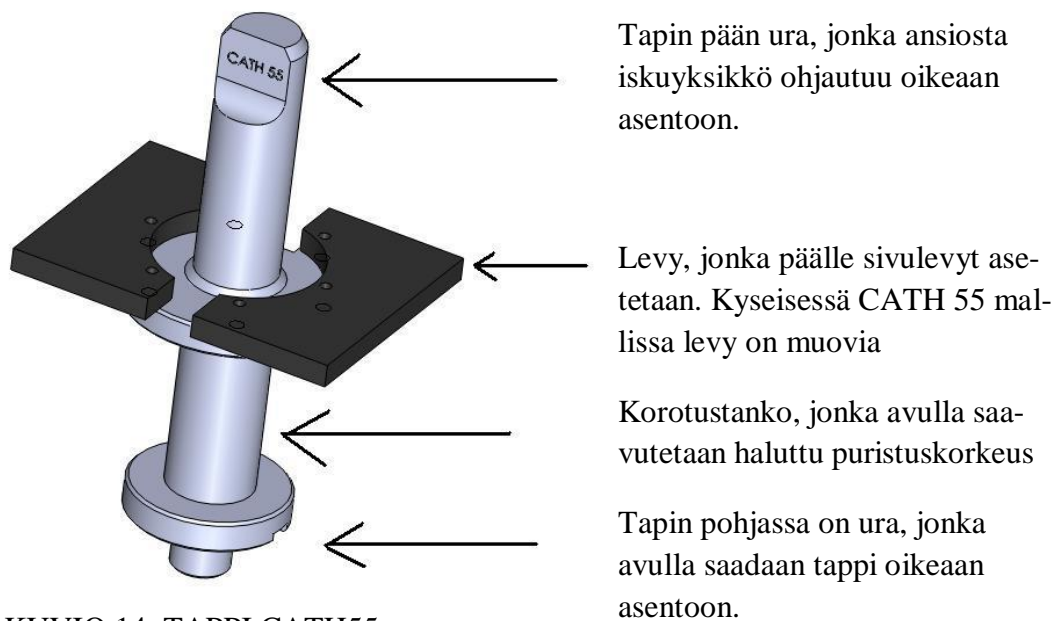
#### 8.6.1 Tappien suunnittelu

Tapit täytyi suunnitella siten, että jokaisella mallilla on oma kiinnitystappi, johon iskuyksikkö kiinnitetään. Tapit ovat kärryistä irrotettavia, ja ne ovat erikorkuisia sen mukaan, mistä kohdasta halutaan puristuksen tapahtuvan ja erikokoisia mallien mukaan. Tappien vaihto mahdollistaa siis viiden eri mallin puristamisen.

Tapit kiinnitetään kärryn päässä sijaitsevaan tapin kiinnityskappaleeseen. Tapit ohjautuvat oikeaan asentoon tappien pohjassa sijaitsevan uran ansiosta. Iskuyksiköt ohjautuvat vuorostaan oikeaan asentoon tapin päässä sijaitsevan uran ansiosta, joka ohjaa alateränholkissa sijaitsevan holkin uraan. Eroavaisuutena tapeilla on myös levy, jonka päälle sivulevyt asetetaan. Levyjen paksuuden määrää alateränholkin ja sivulevyjen välinen pystysuuntainen etäisyys.

Tappien suunnittelun pohjana on käytetty vanhassa puristimessa käytettyjen kahden CATH-vasaramallin tappeja. Tapit ja sivulevyjen tukilevyt valmistetaan teräksestä lukuun ottamatta CATH55:ttä ja CATH65:ttä, joiden sivulevyjen tukilevyt valmistetaan muovista, koska kyseisissä malleissa sivulevyt ovat kevyempiä.

Tappeja suunniteltiin viisi kappaletta, ja kuviossa 14 on esitetty tappien tärkeimmät kohdat.

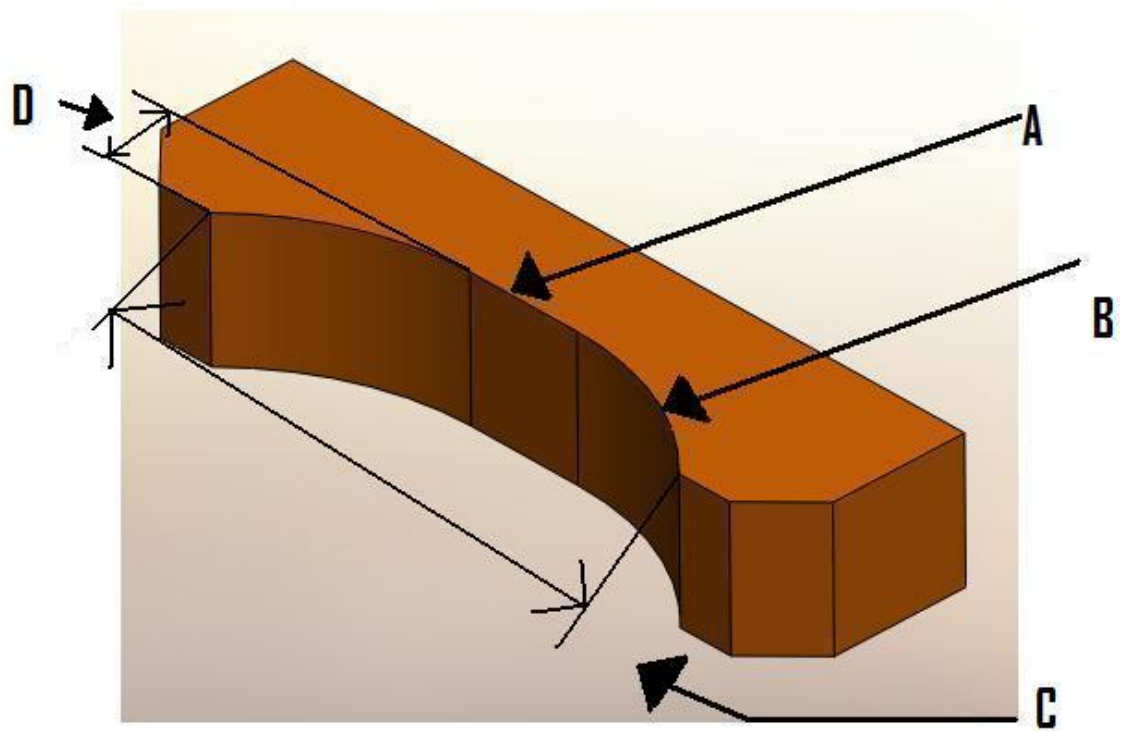


KUVIO 14. TAPPI CATH55

## 8.7 Puristinpäät

Jokaisella mallilla on myös oma puristinpää eli osa, joka ottaa kosketuksen sivulevyn kanssa. Puristinpäät suunniteltiin myötäilemään sivulevyjen muotoja puristettavasta kohdasta. Sivulevyt ovat erimuotoisia ja erikokoisia, joten jokaisella mallilla on oma 90 Sha Vulkollan polyesteristä valmistettu puristinpää. Puristinpäät ovat tapeilla kiinni levyssä kiinni, johon on männänpää ja johteet on kiinnitetty. Tämän ansiosta ne ovat helposti vaihdettavissa. Oikean muodon saavuttamiseksi puristinpäälle valmistettiin jokaisesta vasaramallin sivulevystä sapluuna. Oikeaa puristuskorkeutta haettiin vanhan paineilmapuristimen avulla.

## 8.7.1 Puristinpää mallit



KUVIO 15. PURISTINPÄÄ

Kaikkien puristinpäiden aihiot ovat samankokoisia. Kuviossa 15. on muuttujat jokaista puristinpäästä kohden, jotka ovat

- A. suoran osuuden pituus
- B. kaaren säde
- C. muodon leveys
- D. muodon syvyys.

## 9 RISKIANALYYSI

### 9.1 Yleisiä koneiden turvallisuudesta

Koneita ja laitteita suunniteltaessa on otettava huomioon ennen kaikkea ihmisten väärän toimitavan tehdä työtä. Useimmiten ihmiset työskentelevät huolellisesti ja sääntöjä noudattaen. Kuitenkin ihmisillä on silloin tällöin houkutus väärin toimintatapoihin ja sääntöjen vastaiseen toimintaan. Tästä syystä johtuen kaikki koneet ja laitteet on suunniteltava siten, ettei sellaisiin houkutuksiin ole tarvetta. Opinnäytetyössä suunnitellussa puristimessa sylinterien liike on suojattu suojakotelolla siten, että mitään ei pääse puristumaan väliin. (Siirilä 2008, 65 – 100.)

Itse koneen vikaantuminen tai rakenteellinen vioittuminen voi aiheuttaa vaaratilanteen. Rakenteellinen vioittuminen voi aiheuttaa kappaleen sinkoutumisen tai nostetun iskukyksikön kaatumisen. Ohjausjärjestelmällinen vikaantuminen voi aiheuttaa odottamattoman käynnistymisen tai estää puristinliikkeen pysähtymisen. Rakenteen- ja ohjausjärjestelmän aiheuttama tapaturma on estettävissä säännöllisin väliajoin suoritettavilla huolloilla. (Siirilä 2008, 65 – 100.)



## 9.2 Puristimen turvallisuus

Kärkyjen kaatuminen on estetty puristimen kohdalla putkilla, jotka eivät varsinaisesti tue kärkyä vaan varmistavat, jos se lähtee kaatumaan. Itse kaatuminen on estetty kärkyjen kiskoilla.

Ohjauspaneelissa on hätäseis-painike, josta kaikki hydraulinen liike pysähtyy. Sylintereiden liikettä ohjataan kahdella sarjaan kytketyllä painikkeella ohjauspaneelilta. Näin ovat molemmat kädet kiinni paneelissa, eikä käyttäjän ruumiinosia pääse puristumaan väliin.

Hydraulinen vika on estetty säännöllisillä huolloilla ja sylinterit ja niiden liittimet ovat puristimessa kotelon sisällä. Koneikko sijoitetaan tarvittavan kauas puristimesta.

Puristinta käyttävien työntekijöiden on tutustuttava huolellisesti puristimen käyttöohjeisiin, ja ennen kaikkea puristustyötä tehtäessä on oltava huolellinen, eikä tule tehdä nopeita liikkeitä.

### 9.3 Mahdolliset riskit

#### TAULUKKO 2. MAHDOLLISET RISKIT

<b>Mekaanisia vaaroja</b>		
<b>Vaaran alkuperä</b>	<b>Mahdollisia seurauksia</b>	<b>Estämiskeinot</b>
Tukirakenne hajoaa	Loukkaantuminen	Tukirakenteen tarkastaminen
Kiskot	Kompastuminen	Huolellisuuden noudattaminen
Liikkuvat sylinterit	Puristuminen	Ei ulkopuolisia henkilöitä lähellä
Kärky kaatuu	Vakava loukkaantuminen	Kiskojen tarkastus
Likainen lattia	Liukastuminen	Työskentelymatto
Liittimet hajoavat	Öljyvuoto	Liittimien tarkastaminen
<b>Ergonomiaan</b>		
<b>liittyviä vaaroja</b>		
<b>Vaaran alkuperä</b>	<b>Mahdollisia seurauksia</b>	
Fyysinen ponnistelu	Väsymys	Rauhallinen työtahti
Työskentely asento	Epämukavuus	Oikeaoppinen käyttö
Huono valaistus	Kohonnut tapaturmariski	Valaisimien huolto

(Siirilä 2008, 65 – 100.)

## 10 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella uusi sivulevypuristin, joka olisi sekä ergonomisempi, että nopeampi ja monipuolisempi käytettävyydeltään vanhaan puristimeen nähden. Tavoitteena oli helpottaa kokoonpanotyöntekijöiden työtä, sekä nopeuttaa tuotantoa. Opinnäytetyössä suunnitellulla puristimella ne tavoitteet ovat mahdollista saavuttaa.

Työssä on käytetty paljon SolidWorks 3D -suunnitteluohjelmaa kappaleiden mallintamiseen ja lujuuslaskentojen laskemiseen. Puristinta on suunniteltu puristinta käyttävien työntekijöiden kokemusten ja omien ideoiden pohjalta. Internetiä ja aiheeseen liittyvää kirjamateriaalia on käytetty paljon tiedonkeruussa.

Työn tekeminen oli sekä itsenäistä, että asioiden työstämistä vuorovaikutuksessa toisten ihmisten kanssa. Itsenäinen työskentely on ollut hyvin opettavaista, palkitsevaa ja mielekästä.

Opinnäytetyössä on viikoittain ollut mukana tuotantoinsinöörinä Sandvikilla työskentelevä Ville Jäppinen, joka on toiminut opinnäytetyön ohjaajana ja antanut ohjausta suunnittelutyössä.

## LÄHTEET

### Painetut lähteet:

Aula, E., Mikkonen P. 2008 Liikkuvan kaluston sähköhydrauliikka. Helsinki: Opetushallitus.

Hietikko, E. 2004. 1. Painos. PALKKI, Lujuuslaskennan perusteet. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

Hietikko, E. 2010. 4. Uudistettu painos. SolidWorks, Tietokoneavusteinen suunnittelu 2011. Tampere: Tampereen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print.

Keinänen, T., Kärkkäinen, P. 1997. Koneautomaatio 1. Hydrauliikka ja pneumaatiikka. Porvoo: WSOY.

Siirilä, T. 2008. 2. Uudistettu painos. Koneturvallisuus, EU-määräysten mukainen koneiden turvallisuus. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

Valtanen, E. 2008. 16. Painos. Tekniikan Taulukkokirja. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

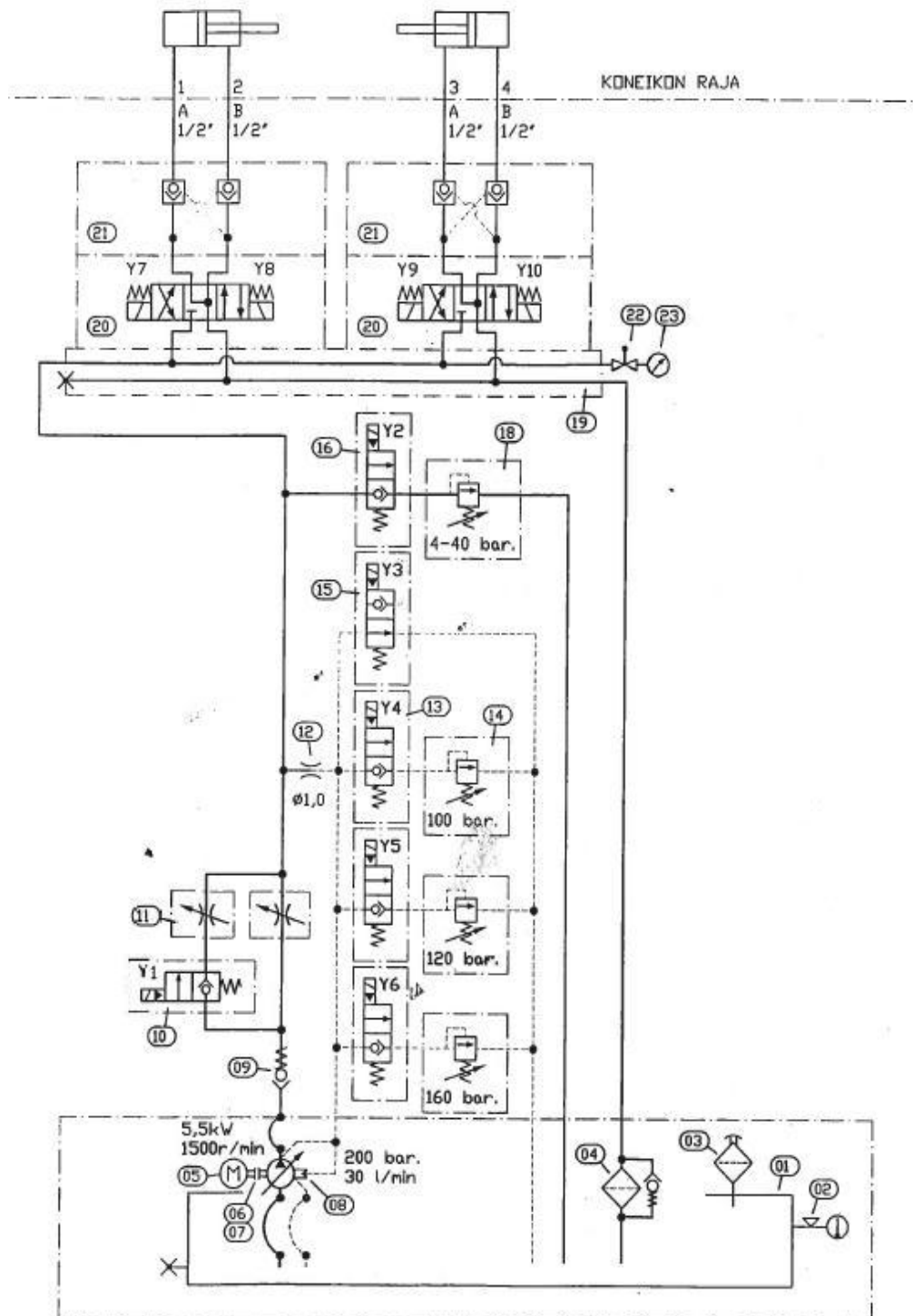
### Internet lähteet:

Sandvik Oy. 2011. [viitattu: 10.4.2011]. Saatavissa:  
<http://www.miningandconstruction.sandvik.com/fi>

Sandvik Oy. 2011. [viitattu: 10.4.2011]. Saatavissa: <http://www.sandvik.com/>

## LIITTEET

## LIITE 1. Hydraulikka järjestelmä



## LIITE 2. Puristimen käyttöohjeet

### PYSTYKOKOONPANO TYÖVAIHEITTAIN

- 1 - nostetaan iskuyks. kokoonpano tappiin
  - vaihdetaan pidätintappi ohjaustappiin paikoitusta varten
  - iskuyks. keskitetään ohjaustappiin ohjauslevyn avulla
  - nostetaan vasemman sivulevyn paikoituslevy johteille
- 2 - nostetaan vasen sivulevy ja varustetaan vaimentimilla
  - vieetään vasen sivulevy iskuyks. kylkeen ja paikoitetaan paikoituslevyllä
- 3 - puristetaan takavasteen sylinterillä noin 60 - 100Nm voimalla sivulevyt iskuyks. vasten
- 4 - poistetaan sivulevyn ja iskuyks. paikoituslevyt
  - laitetaan lieriösokat vasempaan sivulevyyn
- 5 - nostetaan oikea sivulevy ja varustetaan vaimentimilla
  - vieetään oikea sivulevy iskuyks. kylkeen ja paikoitetaan ohjaustapin avulla lieriösokat kohdalleen
- 6 - puristetaan etuvasteen sylinterillä noin 60 - 100Nm voimalla sivulevyt iskuyks. vasten
- 7 - siirretään mutterit etuvasteen taakse
- 8 - vapautetaan etuvasteen sylinteri
  - vapautetaan takavasteen sylinteri
- 9 - puristetaan sivulevyt vastakkain pääsylinterin avulla
- 10 - kiristetään sivulevyt kuusiok. ruuveilla
- 11 - vapautetaan pääsylinteri paineesta
- 12 - puristetaan pääsylinteri etuvasteen sylinterillä c - asentoon

## LIITE 3. Hydraulijärjestelmän ohjauskotelon käyttöohjeet

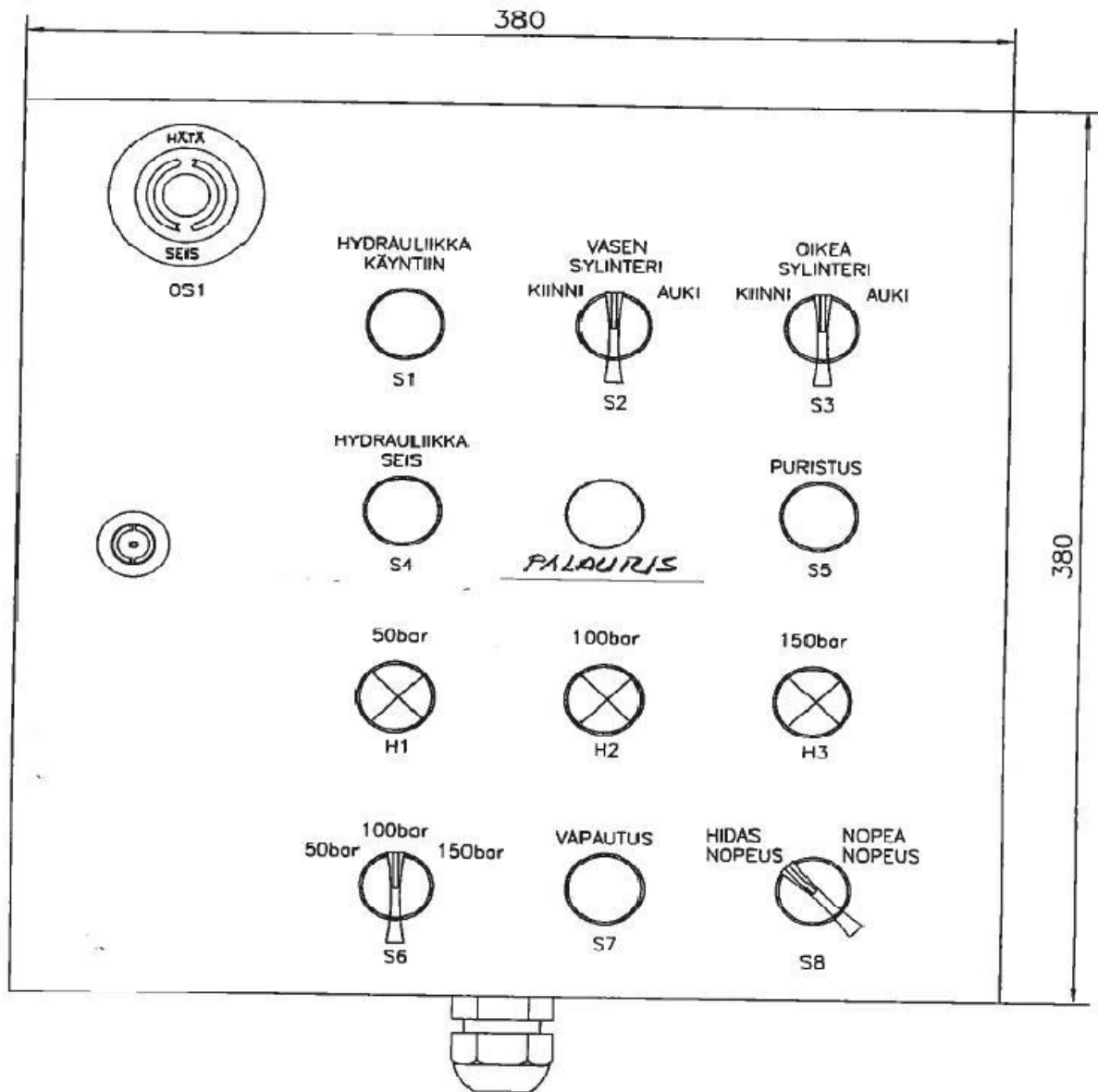
## OHJAUSKOTELO

- painike S1 Hydrauliiikka käyntiin
  - kolmeasentoinen keskelle palautuva kytkin S2 vasen sylinteri kiinni tai auki vaatii toimiakseen vapautus painikkeen S7 painamisen
  - kolmeasentoinen keskelle palautuva kytkin S3 oikea sylinteri kiinni tai auki vaatii toimiakseen vapautus painikkeen S7 painamisen
  - painike S4 hydrauliiikka seis
  - painike S5 puristus, puristaa molemmilla sylintereillä ennalta valitulla paineella vaatii toimiakseen vapautus painikkeen painamisen
  - merkkilamppu H1 painetaso 50bar
  - merkkilamppu H2 painetaso 100bar
  - merkkilamppu H3 painetaso 150bar
  - kolmeasentoinen kytkin S6 halutun puristuspaineen valinta
  - painike S7 vapauttaa sylintereitä ohjaavat toimet
  - kaksiasentoinen kytkin S8 sylintereiden nopeuden valinta
  - lukkiutuva/kiertämällä vapautettava kytkin Os1
- HÄTÄ SEIS

## KYTKENTÄKOTELO

- Pääkytkin

LIITE 4. Ohjauskotelon lay-out





## LIITE 5. Putkikoko lista



## Rakenneputket

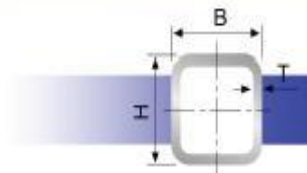
Neliö

## Teräslaji

S355J2H, paitsi 100x100x10 S400H

Todistukset

EN 10204-3.1



MITAT		TEOR.PAINO		MITAT		TEOR.PAINO	
H mm	B mm	T mm	kg/m	H mm	B mm	T mm	kg/m
25	25	2	1,4	140	140	5	20,7
25	25	3	1,9	140	140	6	24,5
30	30	2	1,7	140	140	8	31,4
30	30	3	2,4	150	150	4	18,0
40	40	2	2,3	150	150	5	22,3
40	40	3	3,3	150	150	6	26,4
40	40	4	4,2	150	150	8	34,0
50	50	2	2,9	150	150	10	41,3
50	50	3	4,3	150	150	16	65,2 *
50	50	4	5,5	160	160	6	28,3
50	50	5	6,6	160	160	8	36,5
60	60	2	3,6	160	160	10	44,4
60	60	3	5,2	180	180	5	27,0
60	60	4	6,7	180	180	6	32,1
60	60	5	8,1	180	180	8	41,5
70	70	3	6,1	180	180	10	50,7
70	70	4	8,0	180	180	12,5	60,5
70	70	5	9,7	200	200	5	30,1
80	80	3	7,1	200	200	6	35,8
80	80	4	9,2	200	200	8	46,5
80	80	5	11,3	200	200	10	57,0
80	80	6	13,2	200	200	12,5	68,3
90	90	3	8,0	200	200	16	90,3 *
90	90	4	10,5	220	220	8	51,5
90	90	5	12,8	250	250	6	45,2
90	90	6	15,1	250	250	8	59,1
100	100	3	9,0	250	250	10	72,7
100	100	4	11,7	250	250	12,5	88,0
100	100	5	14,4	250	250	16	115,0 *
100	100	6	17,0	300	300	6	54,7
100	100	8	21,4	300	300	8	71,6
100	100	10	25,6	300	300	10	88,4
110	110	5	16,0	300	300	12,5	108,0
120	120	3	10,8	300	300	16	141,0 *
120	120	4	14,3	350	350	10	106,0 *
120	120	5	17,6	350	350	12,5	131,0 *
120	120	6	20,8	350	350	16	166,0 *
120	120	8	26,4	400	400	10	122,0 *
120	120	10	31,8	400	400	12,5	151,0 *
				400	400	16	